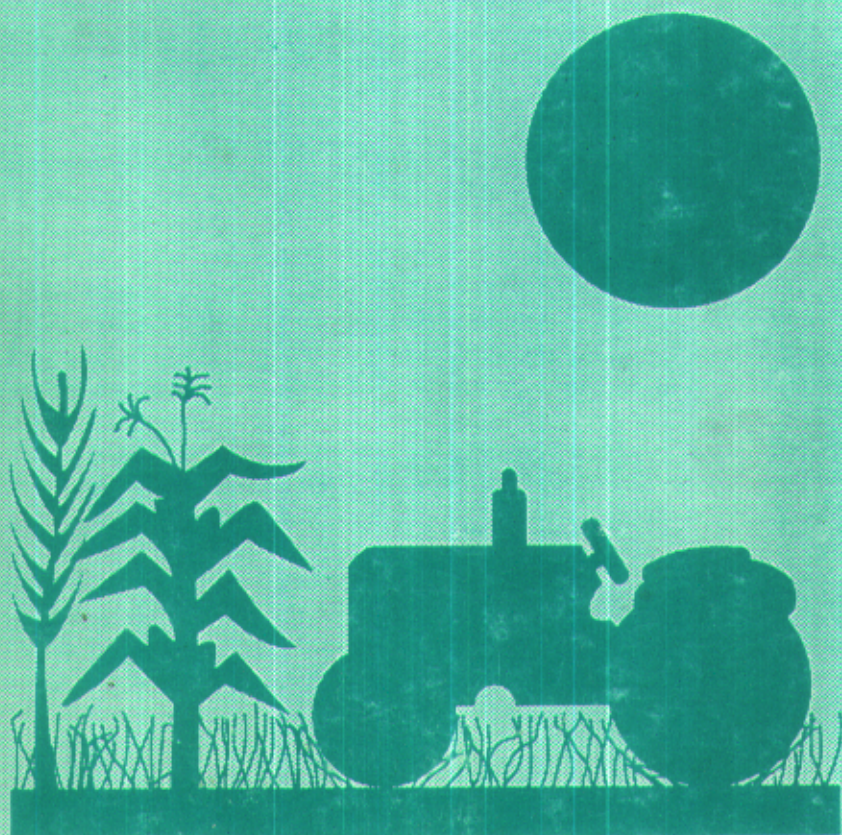


Felipe Torres Torres

La ola biotecnológica
y los retos de la
producción agroalimentaria
en América Latina
y México



Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Investigaciones Económicas
México

IIEc

**LA OLA BIOTECNOLOGICA
Y LOS RETOS DE LA
PRODUCCION AGROALIMENTARIA
EN AMERICA LATINA
Y MEXICO**

INDICE

EL CONTEXTO GENERAL DEL CAMBIO TECNOLOGICO EN LA AGRICULTURA

El dominio tecnológico como factor del control futuro en la producción agroindustrial	9
El impacto probable del nuevo desarrollo tecnológico en el proceso de trabajo	11
El papel marginal de los países subdesarrollados dentro de la nueva tecnología	15
Antecedentes y situación actual del mejoramiento tecnológico en la agricultura	19

SITUACION ACTUAL DE LA INVESTIGACION BIOTECNOLOGICA

La investigación como determinante del nuevo desarrollo biotecnológico	25
Nuevos agentes promotores de la investigación biotecnológica agroalimentaria	30
La investigación agrícola en América Latina y sus retos frente a la ola biotecnológica	38
Estructura de la investigación biotecnologica en México	43
Recursos humanos y financiamiento a la investigación biotecnológica en México	45
Areas de investigación agroindustrial	48
Cuadros	55
Bibliografía	67

EL CONTEXTO GENERAL DEL CAMBIO TECNOLÓGICO EN LA AGRICULTURA

El dominio tecnológico como factor del control futuro en la producción agroindustrial

El sector agrícola es donde más claramente resalta el dominio tecnológico actual. Al quedar la agricultura rezagada del avance científico, provoca el surgimiento de una estructura productiva desarticulada y débil que impacta adversamente sobre el conjunto de la economía y finalmente acarrea secuelas que se expresan en problemas de sojuzgamiento alimentario.

La subordinación que padecen hoy en día la agricultura y la alimentación de los países subdesarrollados, son tan sólo partes visibles de un esquema que deriva del proyecto de redespliegue industrial consolidado por los países desarrollados, y de la competencia internacional de precios que se establece entre ellos por ganar hegemonía en la economía mundial.

A partir de los avances científicos más recientes, se puede observar que la hegemonía es impuesta por aquellos países de mayor capacidad científica y tecnológica, particularmente por el dominio que ejercen dentro de las llamadas "tecnologías punta" como la microelectrónica, la cibernética, las telecomunicaciones, los nuevos materiales y evidentemente la biotecnología.

El desarrollo de estas tecnologías se inscribe dentro de lo que ha dado en llamarse tercera Revolución Científico Tecnológica (RCT), la cual impone un resque-

brajamiento a viejos esquemas de producción basados en los procesos de cadena, para dar paso a nuevos métodos desarrollados bajo la flexibilización de la fábrica, es decir, la automatización completa del proceso a través de consolas de control y la incorporación del flujo continuo para evitar cualquier posibilidad de error.

La implementación del nuevo esquema tecnológico significa romper con todo lo que ahora se entiende como tecnología obsoleta. Ello permitiría a los países altamente industrializados colocar en el mercado novedosos bienes de capital cuyo periodo de vigencia es demasiado corto. Paralelamente se desata un proceso de obsolescencia más acelerado, pero su lógica económica corresponde a la idea de acortar las fases de rotación del capital y reactivar, de esa manera, la dinámica de la producción.

Lo anterior se inscribe indudablemente dentro de una nueva y más completa fase de internacionalización del capital que consolida una etapa de acumulación más integrada pero geográficamente menos "concentradora".

La nueva internacionalización del capital acarrea un reacomodo obligado de grandes consorcios, integrándolos hacia esferas cada vez más diversificadas de la economía, donde se observa una tendencia hacia la creación de grandes centros regionales de producción.

Tal situación provoca simultáneamente una modificación en los procesos de producción encaminados ahora a lograr la automatización completa, y de las relaciones sociales de producción que lo mismo descalifica que recalifica a la mano de obra, pero que finalmente contiene un desplazamiento significativo de la ocupación tradicional, acentuada aún más en el caso de los países subdesarrollados.

La competencia que se establece entre países es muy intensa, ahora la potencialidad tecnológica y la capacidad financiera para desarrollarla, son parámetros básicos para saber quién lleva la delantera.

Por ejemplo, la incapacidad que hasta hoy observan naciones europeas para tomar un rol más activo en el desarrollo de actividades ligadas a la bioingeniería y a la microelectrónica, en concordancia con la concertación

lograda por productores norteamericanos y japoneses, para impulsar tecnologías afines a estas ramas es uno de los principales factores que explican la declinación del poderío internacional europeo.

La RCT abarca el conjunto del sistema técnico y de la organización social. Las nuevas funciones automatizadas que el proceso de producción asume, provocan que el ciclo de vida de los productos de consumo duradero y no duradero mantengan una vigencia en el mercado cada vez más breve.

Tan sólo en el caso de las computadoras se comienza a introducir un sistema de inteligencia artificial a través del cual se incorpora a los controles un proceso lógico y otro analógico, de tal manera que la máquina puede hacer sus propias correcciones de proceso si así lo requiere. También se observa una gran diversidad en el uso de materiales, la mayoría de las empresas buscan, en el caso de la microelectrónica, aligerar los materiales, abaratar sus costos y aumentar la capacidad de conducción, ya no utilizando fibras ópticas o minerales como el silicio, sino que ahora existe el proyecto para utilizar células vivas integradas a los circuitos y así aumentar la eficiencia en transmisión de información y ahorro de energía, este último es uno de los más claros ejemplos de la integración que hoy día caracteriza a las ramas de la producción más adelantadas.

Los robots industriales, la sustitución de máquinas herramientas por las de control numérico y la aparición de sistemas expertos, son factores determinantes de la automatización como tendencia generalizada del proceso productivo.

El impacto probable del nuevo desarrollo tecnológico en el proceso de trabajo

Por efectos de la tendencia hacia la “miniaturización” de los productos, desaparece la gran fábrica industrial típica de la “era fordista”, cuyas características quizá más notorias eran una amplia ocupación de espacio físico y una elevada subutilización de la capacidad instalada.

En el campo de la producción industrial, se impone,

particularmente dentro del ramo de los componentes electrónicos, un nuevo tipo de instalación fabril denominado "Taller Flexible".

Comparado con la gran fábrica tradicional manufacturera, el taller flexible es relativamente pequeño pero altamente automatizado, en su interior laboran un número reducido de operarios; pero resaltan como atributos principales su capacidad de diversificar las líneas de producción, de producir series pequeñas en forma rentable y en tiempo señalado y con ello reducir los tradicionales problemas de escala; esto último ayudado con la implementación del proceso de flujo continuo que a través de un inventario computarizado de requerimientos y existencias, reduce cualquier posibilidad de equivocación, incluso en cuanto a movilidad dentro del mercado.

Se logra una utilización más intensiva de los insumos que intervienen en el proceso productivo y se reduce al margen de desperdicios, los cuales se vuelven reaprovechables.

El taller flexible introduce también una nueva organización social de la producción, aunque su composición tiende a ser contradictoria, que lo mismo requiere una mayor calificación intelectual para algunos de los procesos que de la simple habilidad manual en otros. De cualquier manera, sus propias necesidades tienden a exigir un mayor grado de conocimiento por parte de los trabajadores, sobre todo en áreas especializadas, así como una mayor participación en el proceso productivo. Requiere un mejoramiento general de los promedios y de la estructura de las calificaciones; también de las condiciones de trabajo, debido a que gracias a una mayor capacidad de rotación y diversificación, elimina las tareas repetitivas, tediosas e insalubres.

La "actualización tecnológica" de la tercera RCT no sólo toca a la esfera de la producción como ocurrió en pasadas revoluciones. En el área de los servicios emerge un nuevo tipo de oficina apoyado en innovaciones que permiten la informatización de buena parte de las actividades que se asignaban a la secretaría tradicional; incluso en algunos rubros se logra prescindir totalmente de ella. Por ejemplo, mediante un sistema de "reconocimiento de

voz", es posible ordenar dictados y transmisiones de mensajes a la computadora. También resulta posible la comunicación directa y en tiempo real con bancos y otros organismos, la confirmación de existencia de productos en fábricas y supermercados que permiten un acceso más seguro a los productos.

Las innovaciones tecnológicas se extienden al hogar, de tal manera que ya resulta posible programar desde la vigilancia hasta la preparación de alimentos en forma totalmente automatizada. Así, la información se convierte en la base de la vida cotidiana y permite que el mundo sea una gran aldea donde "todo se sabe" sin necesidad de entablar una relación interpersonal. Por otra parte, el sentido de sociedad cambia, ya que se descentraliza la actividad urbana y permite pensar en una mayor calidad de vida en términos de confort.

Lo que no ha llegado a prever la tercera Revolución Científica es que el mundo no está suficientemente "civilizado" para modificar las estructuras sociales polarizadas en cuanto a la distribución del ingreso, que impiden disfrutar a plenitud las ventajas de la nueva modernización.

Las empresas se preocupan por la actualización tecnológica para disminuir costos de producción y estar a la vanguardia internacional o al menos sobrevivir. La composición orgánica del capital cambia aceleradamente, relegando al capital variable por efecto de la automatización casi completa del proceso productivo.

Los efectos sociales más inmediatos ocurren dentro del empleo. Se ha logrado determinar que una máquina herramienta de control numérico reduce alrededor del 50 por ciento de los puestos laborales requeridos con equipo tradicional. La introducción de un robot elimina 3 y 5 puestos de trabajo en líneas como pintura, soldadura y almacenamiento.

En algunos rubros, los avances de la RCT crean ciertamente nuevos puestos de trabajo, pero ello sólo parece beneficiar a países altamente desarrollados que crean y difunden el progreso técnico. En el caso de los países subdesarrollados, la extensión de la automatización hacia los servicios, ha limitado de manera drástica el potencial de absorción de fuerza de trabajo del cual dependía tra-

dicionalmente este sector ante la declinación del sector primario.

Por otra parte, el nuevo paradigma tecnológico propicia un viraje en el sentido tradicional de expansión del capital; prácticamente ya no domina una línea específica hacia lo gigante o hacia lo pequeño, tampoco se impone un modelo óptimo de control. El modelo que se configura cuestiona las burocracias jerarquizadas de las empresas y las economías de agregación. El nuevo sistema ideal se basa en la conformación de redes descentralizadas con autonomía local bajo coordinación central.

Si una organización pretende ser diversificada y flexible para aprovechar todas las ventajas del nuevo potencial productivo, deberá tender hacia una estructura flexible, interactiva, basada en unidades relativamente autónomas, enlazadas en sistemas de líneas de coordinación adaptativa, bajo una gerencia estratégica dinámica.

Puesto que cada equipo individual puede ser provisto de “inteligencia”, la coordinación central no es indispensable para lograr la eficiencia en todos los casos, y muchos mercados locales pueden ser cubiertos por empresas pequeñas independientes o por redes corporativas con más fácil acceso a mercados regionales. La internacionalización del capital no desaparece en su esencia de lograr la hegemonía de mercado y centralización económica, al contrario, se convierte en un proceso más complejo y a la vez más sencillo de controlar. Combina tendencias tanto a la centralización como a la autonomía, hacia un mayor control y más autonomía.

Al hacer más difusas las fronteras entre los sectores productivos (primario, secundario y terciario), el nuevo desarrollo tecnológico permite redefinir favorablemente la dinámica de los procesos de industrialización, mediante la optimización de los procesos productivos a partir de la optimización de los recursos naturales, materiales y humanos.

Durante la vigencia del paradigma de la producción en masa, donde la productividad y rentabilidad dependían del crecimiento de mercados masivos para productos idénticos, la presión hacia la uniformidad de

los patrones de consumo era condición del crecimiento económico y requería que la demanda se adaptara a la oferta.

El nuevo modelo invierte esta relación: el carácter programable de los equipos y su creciente compactabilidad y modularidad, crean las condiciones para que la diversidad de la demanda final se multiplique de acuerdo a las oportunidades de crecimiento de la oferta. La posibilidad que se tiene ahora dentro de la industria textil de fabricar una camisa a la medida en tres minutos, ilustra perfectamente esta nueva organización.

La tercera RCT se impone bajo un esquema aparentemente desordenado, heterogéneo y dejado al libre arbitrio del tejido económico, pero la realidad es completamente distinta. Su desarrollo está muy a tono con el nuevo proyecto neoliberal de la economía al no mediar un proceso destinado a modificar las bases macrosociales del sistema de acuerdo a las nuevas condiciones de productividad: reestructuración de la organización social del trabajo, reducción de la jornada laboral, desarrollo de un nuevo tipo de aprovechamiento del tiempo libre, etcétera.

El papel marginal de los países subdesarrollados dentro de la nueva tecnología

La proliferación de microrealizaciones a partir de la inducción de nuevas tecnologías provoca tendencialmente la emergencia de una estructura productiva fuertemente polarizada: de un extremo, un sector que observa altos grados de productividad y eficiencia y que logra acceder a estilos de vida cada vez más sofisticados; de otro, un conjunto de actividades heterogéneas, poco competitivas y condenadas a sufrir todo tipo de rigores adversos en términos de bajos ingresos, desempleo y marginalidad.

Dentro del último rubro se ubican los países subdesarrollados como producto de un crecimiento bajo subordinación tecnológica y financiera; sólo que bajo la nueva etapa de internacionalización del capital tienden a ahondarse las desigualdades.

Como observa Vuskovic, “en los años ochenta el foco central del capitalismo internacional se ha desplazado al campo de la revolución tecnológica, y la potencialidad de sus proyecciones en los perfiles técnicos de la producción; de ahí el proteccionismo y la perspectiva de creciente autosuficiencia, con el resultado posible de una progresiva marginación del mundo subdesarrollado”.¹

Dentro de un modelo económico fuertemente competitivo, las economías subdesarrolladas buscan la máxima apertura al mercado externo e intentan cubrir así los intereses de una deuda que las ahoga de tiempo atrás, y que en la actualidad opera como una nueva forma de colonialismo.

Sin embargo los países industrializados implementan toda una gama de procedimientos que bloquea las posibilidades tradicionales que tenían los países subdesarrollados para subsistir, por ejemplo las ventajas comparativas relativas que proporcionaba el comercio de materias primas y la abundancia de la mano de obra.

La nueva estrategia del capitalismo internacional ya no es más el desplazamiento de las fases de los procesos productivos: los más intensivos en mano de obra a países de menor desarrollo para aprovechar en ellos los costos sustancialmente más bajos de la fuerza de trabajo; ahora, la alternativa de la eficiencia y competitividad necesarias para recuperar las tasas de beneficio pasa a situarse en el campo de una profunda renovación tecnológica expresada en la biotecnología, la sustitución de productos y el desarrollo de fuentes alternativas de energía.

Por ello hay quienes señalan que la nueva fase de internacionalización de la economía capitalista mundial, contrasta con una creciente marginalización comercial del mundo subdesarrollado. Así, los países desarrollados cambian su condición de importadores a la de exportadores netos de productos agropecuarios, concentrado en ellos un número cada vez mayor de actividades comer-

¹ Vuskovic, Pedro. *América Latina: la crisis y el significado de un Nuevo Orden Económico Internacional*. Tercer Congreso de la Asociación de Economistas de América Latina, Cuba, noviembre de 1987.

ciales internacionales. “Muchas de las medidas neoproteccionistas se dirigen principalmente a las exportaciones de países subdesarrollados y se les adecúa a cada fase de evolución de ellas; se aplican sistemáticamente a los nuevos productos que llegan a alcanzar cierta penetración en los mercados, y se les mantiene hasta que se reestructura o moderniza la rama afectada en el centro exportador”.²

Llama particularmente la atención el resquebrajamiento de las ventajas comparativas de los productos naturales. Las materias primas que antes eran la “fuente viva” de la economía subdesarrollada, hoy entran a una fase de remplazo por el logro de niveles sustancialmente mayores de eficiencia de la producción primaria en los países industrializados favorecidos por el desarrollo de la biotecnología. El desplazamiento de productos provenientes de países subdesarrollados es creciente y agresiva, y ya no basta por ejemplo, la desvalorización creciente de sus exportaciones como atractivo para mantener el volumen de venta.

La extensión de la tercera RCT a la agricultura, representa la posibilidad de una reorganización de la economía agrícola tradicional en los países subdesarrollados; ya que cada vez existe una mayor integración entre este sector y el industrial. La modernización y el adelgazamiento de la producción industrial, es la causa que explica la baja sistemática en el consumo de las materias primas que exportan los países subdesarrollados, situación que tiene un efecto inmediato en cuanto a reducción de precios, disminución del volumen exportado de productos agrícolas lo cual requiere la adecuación tecnológica en determinadas líneas de productos para lograr la competitividad.

La nueva modernización de la agricultura impulsada por la biotecnología esta permeada, indudablemente, por una reestructuración de la economía mundial que incorpora a la ciencia como fuerza productiva, y utiliza a la tecnología como elemento determinante del nuevo control que asumen los países más fuertes.

La biotecnología es junto al desarrollo de los bienes

² Vuskovic, *Idem*.

de capital agrícola, logrados mediante la aplicación de la microelectrónica, la determinante fundamental del desarrollo tecnológico emergente del agro y de la nueva forma revolucionaria de producir alimentos mediante la incorporación masiva de la ingeniería enzimática.

La nueva fase de modernización agrícola hace imprescindible por vez primera, la integración desde el laboratorio hasta el campo de cultivo. Por otra parte, convierte en necesidad la aplicación precisa de la ciencia conjuntada por la ingeniería genética, el DNA recombinante, el cultivo de tejidos y las nuevas fermentaciones derivadas de la ingeniería enzimática.

Como observa Arroyo, "aunque el productor agrícola continuara cosechando sus tierras, los productos obtenidos serán el resultado de órdenes transmitidas a través de genes y de variedades mejoradas por aquellos que dominan la ingeniería genética y la biotecnología".³

La nueva tecnología acarrea transformaciones profundas en la estructura de la producción y puede inducir a la creación de un nuevo tipo de productores agrícolas industriales, seleccionados por la misma lógica que encierra el actual modelo neoliberal de la economía. Además, estarán en condiciones de modificar la cadena agroindustrial y de incidir en otros sectores de la economía; con ello estarán en posibilidades de producir alimentos con apariencia de naturales, pero sin ninguna relación con las materias primas agrícolas. Será la integración completa entre agricultura e industria.

Existen además otros elementos que clarifican la tendencia anteriormente señalada: "Las fincas agrícolas serán administradas cada vez más mediante el uso de computadoras y de telemática para controlar la eficiencia de las labores del campo, de la cosecha y su almacenamiento, para identificar electrónicamente el ganado y prescribirle automáticamente dosis individualizadas de alimentos o de medicamentos, para vigilar la eficiencia del riego. Mediante la información proveniente de satéli-

³ Arroyo, Gonzalo. *Transformaciones recientes de la agroindustria a nivel mundial*. 1er. Seminario sobre Reconversión Industrial, Ixtapa, Zihuatanejo, México, 1987.

tes y radios, a los que estará integrado el control computarizado de la finca, se podrán tomar medidas preventivas contra accidentes climáticos, epidemias, etcétera. El mismo sistema recibirá además informaciones agrícolas, veterinarias, económicas, etcétera, de los bancos de datos con que estará conectada e información sobre coyuntura económica, mercado, precios, transacciones, etcétera.⁴

La aplicación de la biotecnología a la agricultura y a la alimentación es resultado de un proyecto a largo plazo configurado por los países altamente industrializados y apoyado con grandes inversiones de capital para apoyar la investigación genética básica. El proyecto ya está generando los primeros resultados positivos y actualmente existen varias empresas internacionales alrededor de este negocio.

Antecedentes y situación actual del mejoramiento tecnológico en la agricultura

Si bien el mejoramiento tecnológico de la agricultura y de la producción de alimentos, han representado una preocupación constante del hombre como forma de prevenir las hambrunas ante las amenazas de la naturaleza, lo cierto es que la concepción bajo la cual se orienta tal mejoramiento observa cambios drásticos a lo largo del tiempo. Mientras que durante milenios se buscó mejorar la productividad de los cultivos tratando de encontrar un equilibrio entre el medio natural y la base social. Conforme la agricultura adquiere una connotación capitalista, dicho equilibrio se rompe gradualmente hasta llegar a una fase en que prácticamente desaparecen la variabilidad de los recursos vegetales (erosión genética) y emerge una nueva clase de empresarios agrícolas que rompe con la estructura simple del agro y polariza su estructura social. Lo que interesa bajo el nuevo esquema es intensificar la producción, independientemente de los costos económicos, ecológicos o sociales que ello implique.

⁴ *Idem.*

Los nuevos empresarios asumen funciones diferentes, en el sentido de integrar la agricultura al circuito comercial como una rama más identificada con el proceso industrial. Paralelamente empuja hacia una mayor privatización del avance tecnológico y, por efecto de ello, se acentúa el proceso de concentración de la tierra, originando fuertes conflictos sociales en el agro.

Conforme avanza la ciencia, la tecnología se diseña para operar a gran escala y prescindir lo más posible de la mano de obra campesina, de tal manera que los costos de operación se incrementan sustancialmente. Esto último margina automáticamente al pequeño productor, relegándolo paulatinamente a operar dentro de un circuito de "indigentes que produce para indigentes"

La agricultura se conforma gradualmente en un conjunto integrado de grandes empresas que operan con procedimientos similares a las de la industria. Desaparece la empresa que se dedicaba básicamente a la comercialización de materias primas provenientes de países subdesarrollados y emerge la gran empresa transnacional transformadora de alimentos y productora de insumos para la agricultura. De esta manera aparecen nuevas ramas agroindustriales que inducen a una constante "actualización" tecnológica de la agricultura.

Lo anterior concuerda con la expansión del proyecto de internacionalización de la economía del cual deriva una nueva división internacional del trabajo agrícola; gracias a su mayor avance tecnológico, esta nueva división permite a los países industrializados tomar ventajas que se traducen en mayor capacidad de producción y comercialización, y en la definición de las líneas de productos que mejor conviene a sus intereses.

Gracias al dominio científico, las empresas poseedoras del avance tecnológico obtienen dos tipos de ventajas: a) mediante la transferencia de tecnología a través de la venta de paquetes integrados de insumos; b) debido al control que ejercen en el mercado internacional de los productos agrícolas, gracias a los excedentes logrados en países industrializados por el diferencial de productividad y precios, la orientación de los cultivos y las opciones diversificadas de transformación.

En la actualidad la modernización representa un elemento indispensable para la revalorización del capital agrícola y alimentario. Es cada vez más reconocido el hecho de que esta modernización se inscribe en las llamadas "revoluciones tecnológicas" que marcan la entrada a una nueva fase de acumulación y transforman la estructura social en su conjunto.

La llamada Revolución Verde marca de hecho la entrada a la primera gran fase de modernización de la agricultura mundial en un momento que los avances logrados con el motor de combustión interna y la intensificación del uso de la energía eléctrica marcaban la pauta del desarrollo industrial.

Dentro de la tercera RCT la agricultura deberá adecuarse a cambios más drásticos que sufre el aparato productivo, ya que con base en el desarrollo de la microelectrónica y la apropiación de la información, modifica sustancialmente las formas clásicas de producir, distribuir y consumir.

En el caso de la agroindustria, el "pivote" que induce la generalización de esta nueva fase de modernización, está dado por los avances logrados con la biotecnología agrícola y alimentaria.

Sin embargo, la nueva modernización de la agricultura no se restringe a la modificación de las funciones de los microorganismos para su aplicación agrícola y alimentaria, sino que aprovechando los avances de la microelectrónica, trastoca también las características de los medios de producción en el campo.

Por ejemplo, aumentará el uso de maquinaria computarizada; se crearán nuevos sistemas de riego debido a menores requerimientos de agua de los cultivos; habrá necesidad de adaptar reactores nucleares para multiplicar la velocidad de las reacciones en fermentación; posiblemente desaparecerán industrias completas de insumos como la de compuestos nitrogenados debido al uso de fertilizantes biológicos; algunas empresas químicas cambiarán de funciones por la creación de biopesticidas; se modificará la cadena agroindustrial por la aparición de nuevos productos y la desaparición de otros y se podrá equilibrar la dieta con base en requerimientos

nutricionales específicos de los individuos con base en el “diseño” de nuevos vegetales.

La aplicación tecnológica no tendrá un desarrollo homogéneo; en los países subdesarrollados incluso pueden ahondarse las desigualdades debido a la escasa capacidad de inversión en investigación y desarrollo.

Para llegar a generalizarse, la nueva fase de modernización se requiere de costosas inversiones tanto en el campo de la investigación básica como en la esfera de la aplicación industrial. En este contexto, el capital trasnacional mantiene una delantera prácticamente inalcanzable.

La situación real es que la nueva fase es una realidad incontenible y no se vislumbra otra alternativa que entrar al campo de las “semillas chips” de la “ola biotecnológica”, no hacerlo dentro del nuevo proyecto de reestructuración del capital internacional, significaría para los países subdesarrollados desechar toda posibilidad de lograr la autosuficiencia alimentaria y paralelamente quedar rezagados de los circuitos comerciales mundiales de materias primas de origen vegetal. La biotecnología es un aspecto que debemos considerar sin dejar de lado el efecto que podrían tener otras “tecnologías punta” como la robótica y la cibernética en la fabricación de maquinaria y equipo para la automatización del proceso productivo, o las telecomunicaciones en el “inventario” de tierras sembradas, incluso el desarrollo de las fermentaciones en la producción alimentaria.

Los costos de producción resultan significativamente disminuidos en el sentido de que con el nuevo desarrollo tecnológico, particularmente en la producción de alimentos, se requiere “menos de cualquier cosa” para lograr igual o superior propósito. Lo que en todo caso representa dificultad, son los criterios con que se va a canalizar la inversión, el tipo de desarrollo agroindustrial, y consecuentemente los procedimientos para mejorar, en términos de equidad, la estructura jurídico-política del agro que provoque una mejor polarización de los productores, ya que ello es técnicamente posible.

En su primera fase, la modernización de la agricultura mundial obedece a un recambio en el estilo de pro-

ducir, transformar y comercializar los productos agrícolas; ésta se gesta en el marco de un proceso inicial de internacionalización del capital agroalimentario.

La internacionalización involucra los procesos de modernización en la productividad de alimentos y otros productos agrícolas, incluyendo a las innovaciones tecnológicas agrícolas, mejoras organizativas y de gestión económica de los predios rurales, y a los nuevos mecanismos de integración de las unidades agrícolas con las fases de comercialización y/o procesamiento que empiezan a difundirse desde inicios de los años sesenta. Aparece un nuevo patrón agroalimentario que involucra productos y procesos nunca antes conocidos, principalmente en países subdesarrollados.

El nuevo desarrollo tecnológico de la agricultura y la producción alimentaria consiste en la incorporación de la manipulación genética de los microorganismos al desarrollo de cultivos con nuevas propiedades que se expresen en rendimientos y resistencia a medios adversos como el clima y el suelo. Colateralmente también está abocada a la creación de productos con nuevas cualidades organolépticas que modificarán el patrón de consumo vigente. Su desarrollo atañe asimismo, al rediseño de los bienes de capital (tractores agrícolas computarizados, sembradoras, etcétera) implementando una automatización completa del proceso productivo. Manifiesta un mayor énfasis en la especialización por producto; integra una mayor diferenciación de productores y una intensificación más acentuada del capital sobre el trabajo. En suma, es la aplicación más acabada del proceso industrial a la agricultura, mediante el desarrollo de "chips" agrícolas, con capacidad para integrar su propio fertilizante, insecticida y posiblemente la definición de su propio ciclo de maduración.

SITUACION ACTUAL DE LA INVESTIGACION BIOTECNOLOGICA

La investigación como determinante del nuevo desarrollo biotecnológico

Gran parte de los análisis que tocan la temática biotecnológica hoy día, advierten, mediante una argumentación bien sustentada en el dinamismo de los nuevos cambios tecnológicos, sobre la reestructuración que obligadamente sufrirá la cadena agroindustrial conforme se consolida el desarrollo experimental y avance el escalamiento industrial de los contenidos del nuevo paradigma científico.

Algunos de los análisis aludidos son acompañados con ejemplos de cierta espectacularidad y, otros más desbordan con sus prospecciones los límites aparentes de la imaginación. Es en este sentido que los niveles real y potencial de la investigación aparecen como la piedra angular que permite validar algunos de los impactos y posibles repercusiones que puede acarrear el nuevo paradigma científico, específicamente dentro de la estructura tradicional agroindustrial y también en la generación de nuevos desequilibrios productivos y comerciales entre las distintas regiones geoeconómicas del planeta.

Estemos o no de acuerdo con la lógica y la sustentación de los análisis sobre el impacto probable de la investigación biotecnológica en la producción agroalimentaria y al interior de su base social, no dejamos de recono-

cer, eso si, que el alto grado de especialización que esta ha logrado, induce actualmente hacia una verdadera industrialización de la agricultura, al tiempo que impone un estilo tecnológico distinto para producir alimentos mediante la utilización de nuevos sustratos potenciales por el conocimiento de las funciones de los microorganismos.

Los avances metodológicos alcanzados por las distintas ciencias relacionadas con la producción agroalimentaria, permiten prácticamente diseñar los productos y manejar los límites de la producción y productividad sectorial. La investigación toma cuerpo en una revolución biotecnológica que asigna tendencialmente, un rol desventajoso en la división internacional del trabajo agrícola, a los países tradicionalmente productores de materias primas de origen vegetal.

Dentro de una diversidad de técnicos biotecnológicos que incluyen aspectos agrícolas, alimentario, farmacéutico, ganadero y mejoramiento del ambiente, destacan los siguientes:

- a) Técnicos para el cultivo de células y tejidos.
- b) Procesos biotecnológicos, fundamentalmente de fermentación y que incluye la técnica de inmovilización de enzimas.
- c) Técnicas que aplican la microbiología a la selección y el cultivo de células y microorganismos y
- d) Técnicas para la manipulación, modificación y transferencia de materiales genéticos (ingeniería genética).⁵

Un agrupamiento más amplio quedaría desplazado en esta forma:

- a) cultivo de tejidos y células para la rápida micropropagación in vitro de plantas, la obtención de cultivos sanos, el mejoramiento genético por cruza amplia, la preservación o intercambio de germoplasma,

⁵ Banco Interamericano de Desarrollo. *Informe 1988. Progreso económico y social en América Latina*, tema especial: Ciencia y Tecnología. Washington, D.C., 1988.

la “biosíntesis de metabolitos” secundarios de interés económico y la investigación básica.

- b) El uso de enzimas o fermentación microbiana para la conversión de materias primas definidas como sustratos en determinados productos, la recuperación de estos productos, separación de los caldos de fermentación y su purificación final.
- c) Tecnología del Hibridoma. Se refiere a la producción a partir de “clones” de anticuerpos de acción muy específica que recibe el nombre de anticuerpos “monoclonales”.
- d) Ingeniería de Proteínas. Implica la modificación de la estructura de las proteínas para mejorar su funcionamiento o para la producción de proteínas totalmente nuevas.
- e) Ingeniería Genética o Tecnología del ADN. Consiste en la introducción de un “ADN” híbrido, que contiene los genes de interés para determinados propósitos, para capacitar a ciertos organismos en la elaboración de productos específicos, ya sean éstos enzimas, hormonas o cualquier otro tipo de proteína u organismos.
- f) Bioinformática. Es una técnica basada en la utilización de proteínas en aparatos electrónicos, particularmente sensores biológicos y “biochips”; es decir, microchips biológicos capaces de lógica y memoria.

Resulta necesario esclarecer que las condiciones económicas y el nivel científico necesario para acceder al nuevo desarrollo biotecnológico, con todo y que se piensa en una generalización de resultados prácticamente hasta finales del año 2000 (cuadro 1), observa ya en este momento un notorio diferencial entre países desarrollados y subdesarrollados y provoca, directa o indirectamente, la consolidación de un proceso de concentración y centralización de capital mucho más agresivo, dado que la ciencia se convierte paulatinamente en un componente esencial de las fuerzas productivas. Por otra parte, la ciencia exige cada vez mayor capacidad de financiamiento, (cuadro 2) también resulta dudosa la recuperación de la inversión en investigación, de esta manera sólo las grandes empre-

sas, cuyo giro original no es precisamente el agrícola (cuadro 3), pueden invertir en costosos programas de investigación sin poner en peligro su existencia.

Por la razón anterior, no resulta extraño que países como Japón, los Estados Unidos, y en menor medida Europa Central (cuadro 4), observen actualmente los mayores niveles de investigación con un margen notorio, medido en magnitud de la inversión y resultados obtenidos, sobre los países subdesarrollados, dentro de esta compleja "guerra" sobre la explotación exponencial de las características de los organismos vivos. Además, debido al alto nivel de capacitación intelectual requerido para el dominio metodológico de la nueva investigación, ahora se observa una profundización creciente en los diferenciales tecnológicos que ya de por sí eran notorios desde la Revolución Verde.

En función de su costo y complejidad, la nueva ciencia biotecnológica se ha vuelto privilegio casi exclusivo de un grupo selecto de empresas y países (cuadro 5); además, debido a sus limitadas potencialidades comerciales, cada día corre mayores riesgos el patrimonio universal de los recursos genéticos, que se privatizan al igual que la economía en su conjunto. La investigación que se desarrolla en países subdesarrollados, fuertemente subvencionada por el Estado, y por lo mismo enfrentada a la recesión que sufren las economías regionales, puede tener un impacto poco significativo incluso a su interior si continúa el desestímulo financiero.

Lo que se perfila claramente en un futuro inmediato, son grandes cambios en la correlación del uso de los recursos naturales respecto a la capacidad de inversión para adoptar modificaciones en la producción agroalimentaria que llevarían a una utilización más generalizada de sustitutos sintéticos, la cual acarrearía efectos profundos sobre los productos agrícolas del Tercer Mundo.

Las ventajas comparativas comerciales que durante mucho tiempo estuvieron definidas por la abundancia y calidad de los recursos naturales, hoy en día parecen determinadas por el conocimiento científico del código genético de los vegetales y animales. Esto obliga a los países subdesarrollados a procurar un nivel científico

tecnológico elevado que les permita, además de potenciar la productividad de sus recursos naturales y contrarrestar la pérdida de competitividad internacionales de sus productos, recuperar parte de su deteriorada soberanía alimentaria.

En todo momento la tecnificación de la producción agrícola y alimentaria implica una demanda creciente de componentes industriales que paralelamente han dado lugar a importantes desarrollos científicos en distintos países del mundo (maquinaria agrícola, fertilizantes, optimización del uso del agua y mejoramiento de semillas entre otras); el desarrollo tecnológico de todos estos componentes no se encuentra totalmente agotado, por el contrario, reaviva la expectativa de un enorme potencial a futuro. La posibilidad de readecuar las funciones de estos componentes con los adelantos logrados por las tecnologías punta: robótica e informática a la maquinaria agrícola; ingeniería genética para el diseño de nuevos vegetales; ingeniería enzimática para el desarrollo de nuevos productos alimentarios; transferencia de embriones para el incremento de la producción ganadera, etcétera, confiere un atractivo mayor al desarrollo de la nueva investigación.

Una característica importante de la nueva investigación es la relativa rapidez con que pretende liberar sus resultados, de tal manera que según proyecciones especializadas, existe la posibilidad de que antes del año 2000 se encuentren ya en fase de comercialización inclusive cultivos básicos que hoy presentan grandes dificultades metodológicas para lograr su control mediante técnicas de ingeniería genética (cuadro 1)

Todos estos elementos nos ayudan a clarificar, ahora que la ciencia logró prácticamente descifrar la estructura del código genético, que con la investigación biotecnológica estamos ante un revolucionario esquema de industrialización de la agricultura. No obstante, la heterogeneidad tecnológica tradicional que ha caracterizado a los países subdesarrollados en sus esquemas de producción, todavía permanecerá un buen periodo y puede significar para éstos una alternativa válida, siempre y cuando no se desliguen del complejo panorama

económico actual. La dinámica de la investigación biotecnológica actual presenta ciclos de obsolescencia muy breves que difícilmente podrían ser absorbidos por países pobres.

Nuevos agentes promotores de la investigación biotecnológica agroalimentaria

La investigación que sustentó el desarrollo tecnológico de la Revolución Verde fue creación de organismos públicos que contaron, y siguen contando marginalmente, con financiamiento estatal.

Si bien es cierto que adicionalmente existió el apoyo económico de fundaciones internacionales creadas a propósito por las empresas privadas, lo cierto es que tal apoyo fue poco significativo, sin embargo, las empresas aprovecharon los resultados públicos de investigación para comercializarlos. El grueso de la responsabilidad económica corrió a cargo del sector gubernamental.

Incluso en la mayoría de los países donde se extendió la Revolución Verde, los gobiernos mismos se encargaron tanto de promover la investigación y de abrir sus fronteras para la realización, como de la introducción comercial del nuevo paquete tecnológico orientado a incrementar el rendimiento de los principales cultivos.

Con el desarrollo de la biotecnología se genera un nuevo tipo de investigación más integrado al aparato productivo que, por lo mismo exige la explotación comercial más intensiva de sus resultados. En función de ello, y dada la restricción del gasto público que debilita la capacidad financiera del Estado para solventar nuevos programas, surge un nuevo patrocinador de la investigación, así tenemos que, por lo menos en el caso de los países industrializados, ya no son más los organismos públicos con financiamiento estatal quienes marcan la pauta dentro de los nuevos programas de investigación, sino que es el sector privado quien toma definitivamente el control (cuadro 6) mediante diversos mecanismos de operación. Ello provoca un proceso de privatización más acentuado de la ciencia y sus resultados, así como

una mayor competencia por la posesión de los recursos vegetales en forma privada.

La potencialidad de la nueva investigación ha incidido en la conformación de una nueva empresa biotecnológica cuya lógica se orienta hacia una mayor centralización del capital, teniendo como antecedente, o bien adquisiciones masivas de pequeñas empresas relacionadas con el negocio de los insumos agrícolas y alimentarios, (cuadro 3) o una diversificación de funciones de las empresas dedicadas a la industria petroquímica y farmacéutica (cuadro 6); en el caso de las últimas, su participación en el ramo agroalimentario obedece a la gran similitud entre los procesos de investigación seguidos, no obstante que se trabaje con productos distintos y se obtengan resultados diferentes. Aunque también ello deriva de modalidad que actualmente impone la tercera RCT en el sentido de que el mismo proceso sirve a la formación de distintos productos.

Las empresas agroquímicas incluyen dentro de sus programas de investigación, el desarrollo y la producción de sustancias químicas y microbiales nuevas y más efectivas para el control de plagas y enfermedades: herbicidas, fungicidas, reguladores del crecimiento de plantas e insectos y hormonas para incrementar la productividad del ganado.

La ingeniería genética además de que integra métodos de producción de insumos mejorados, también contempla técnicas para revolucionar el desarrollo de variedades vegetales.⁶ Además introduce a la agricultura un nuevo esquema empresarial que rompe con la parcialización en la producción de insumos agrícolas y alimentarios los cuales pueden no tener un origen natural. La diversidad de las funciones empresariales se expresa en una multimodalidad de la investigación biotecnológica. Un estudio reciente⁷ señala que un mismo re-

⁶ Kloppenburg, Jack. *Et. al. La biotecnología en Estados Unidos y el Tercer Mundo*. Revista Mexicana de Sociología, año, L, No.1. IISUNAM, México, 1988, p. 103.

⁷ *Idem.*

sultado tiene diversas aplicaciones en distintos campos de la producción; por ejemplo, se ha descubierto que la interferona humana, desarrollada originalmente para combatir el cáncer, también puede convertirse en un fungicida efectivo. De esta manera, la investigación que desarrolla la biotecnología rompe la frontera de proceso tradicional que se establecía entre la producción de insumos químicos y biológicos, integrándolos en una sola línea. Elimina igualmente, la diversidad de tecnologías que se desarrollaban para lograr insumos que pueden tener diversas aplicaciones; ello permitirá a las empresas un mayor ahorro futuro en gastos de inversión, a la vez que incrementará la eficiencia de capacidad instalada.

Lo que se pretende ahora dentro de los programas de investigación en ingeniería genética es llegar a determinar en forma exacta las características agronómicas de la planta, su ciclo de maduración, tiempo de cosecha, utilización de nutrientes, calidad nutricional, resistencia a enfermedades, etcétera.⁸ La investigación rompe así con las barreras del tiempo y el clima y permite, en el caso de la agricultura, una mayor explotación de los cultivos en términos de intensidad y rendimiento, lo mismo que mayor ahorro en mano de obra y menor dependencia de los recursos naturales.

No es de extrañar que en los Estados Unidos se inviertan desde 1980, alrededor de mil millones de dólares anuales en investigaciones privadas en las diferentes áreas de la biotecnología: existen 300 empresas que desarrollan investigación en este campo, de los cuales 50 se abocan a la agricultura y 35 en el área de biología molecular. en los países industrializados (EUA, Alemania, Francia, Inglaterra y Suiza) existen alrededor de 500 empresas investigando en biotecnología.⁹ (cuadros 5 y 6).

La producción agroalimentaria tenderá a emplear el enfoque de sistemas haciendo uso integrado de los

⁸ Kloppenburg, Ob. Cit. p. 104.

⁹ Buttel, Frederik. *Biotechnology and the Future of Agriculture. Research and Development in Latin America and the Caribbean.* Citado por Arroyo y Arias. Discusiones sobre autosuficiencia y seguridad alimentarias. El caso centroamericano, Argumentos, UAM-Xochimilco, México, 1987.

avances logrados en microelectrónica, comunicaciones y desarrollo de nuevos materiales.

El desarrollo de la investigación biotecnológica presiona hacia la creación de una nueva regulación jurídica para los insumos agrícolas. La factibilidad de proteger resultados logrados en investigación científica a nivel mundial mediante la aprobación de leyes patentarias especializadas en recursos genéticos (vegetales y animales), incentiva al capital privado a la creación de sus propios programas de investigación.

Una tendencia interesante de la nueva investigación biotecnológica, es que las empresas aprendan novedosos programas de "maquilización" de la ciencia a través de contratos previos con centros universitarios. (cuadro 7). De esta manera cambia el sentido tradicional de las universidades que se concebían como apacibles espacios académicos ajenos a toda lógica empresarial; ahora los centros universitarios se ven presionados a comercializar sus propios resultados, o bien a firmar convenios de investigación con apoyo privado para continuar operando.

En los Estados Unidos, el crecimiento proporcional más importante del financiamiento privado a las universidades ocurre dentro del área de las ciencias biológicas. Las escuelas de Ingeniería, Medicina y Agricultura reciben, según una encuesta,¹⁰ el 86 por ciento de los fondos industriales para la investigación. La mayor parte de este apoyo proviene de las grandes empresas.

Si bien resulta cierto que un grupo importante de empresas pequeñas y medianas han participado de manera dinámica en la investigación biotecnológica en los Estados,¹¹ lo cierto es que dicha participación no se mantiene a lo largo del tiempo debido a que no pueden enfrentar los altos costos de la investigación y por lo tanto decrece su apoyo financiero a los centros académicos. Un estudio comparativo realizado por la

¹⁰ Kloppenburg, Ob. cit. p 105.

¹¹ Quintero, Rodolfo. *Prospecciones de la Biotecnología*. Fundación Barros Sierra, CONACYT, México, 1985.

Universidad de Harvard¹² (compara las 500 empresas más grandes de la revista *Fortune* con las pequeñas compañías de biotecnología fundadas después de 1972) concluye que mientras el 83 por ciento de las grandes compañías de la muestra financiaban la investigación en las universidades con un promedio de 108 mil dólares de proyecto, sólo el 38 por ciento de las pequeñas lo hacía con un promedio por proyecto apenas de 19 mil dólares. Esto obedece, según los autores, a una diversificación de actividades que permite mayor solidez financiera a las grandes empresas. (cuadro 6).

Con el desarrollo y aplicación de la nueva investigación biotecnológica, son las grandes empresas quienes marcan el tono de la relación industria-universidad.¹³ Las empresas pequeñas corrieron inicialmente la aventura de incorporar dentro de sus actividades a científicos altamente calificados extraídos de las universidades, pero finalmente no lograron sostenerlos y se impusieron las grandes empresas de capital diversificado.

Según datos extraídos del estudio antes citado, durante 1984 en los Estados Unidos, entre 16 y 24 por ciento de los fondos disponibles para la investigación y desarrollo de la biotecnología realizada en centros de educación superior provenía del apoyo industrial. Esto hace que la sobrevivencia futura de las universidades dependerá cada vez más de su capacidad para vincularse con la empresa privada, así como de la experiencia mercantil que adquieran para comercializar sus propios resultados de investigación de manera autónoma.

El monto total del presupuesto destinado a investigación y desarrollo en general ha crecido poco durante los últimos 15 años, pero a decir de algunos observadores, su volumen de 56.6 millones de dólares a precios de 1979, es de todas maneras considerable si se toman en cuenta las restricciones presupuestarias y el dinamismo que tradicionalmente observa este campo. Del presupuesto total canalizado a la investigación, el 13 por

¹² Citado por Kloppenburg. Ob. cit.

¹³ Kloppenburg, Ob. cit. p. 107.

ciento se dedica a la investigación, 13 por ciento a la investigación aplicada y 64 por ciento al desarrollo de proyectos; aunque se reconoce que es difícil determinar el monto destinado a biología aplicada y menos a biotecnología.¹⁴

La importancia que adquiere actualmente la investigación para las grandes empresas obedece a la elevada potencialidad que ofrece el mercado de los nuevos insumos. De acuerdo con estudios realizados sobre la escala del mercado de los productos biotecnológicos,¹⁵ se proyecta que para 1990 dicha escala globalizará aproximadamente 27 mil millones de dólares; hacia el año 2000 la industria biotecnológica aumentará en 22 500 millones de dólares. También se afirma que tres campos—energéticos, agricultura, alimentos y químico farmacéutico—abarcarán la tercera parte del mercado total japonés.

El gobierno japonés ha destinado recursos por 128 millones de dólares para un programa de diez años y se estima que la industria gasta unos 217 millones de dólares en investigación y desarrollo en biotecnología. El esfuerzo de Japón se centra en la ciencia aplicada y se han iniciado relaciones comerciales con compañías occidentales y con países del tercer mundo. En Europa Occidental existen dificultades para coordinar las investigaciones; en el Reino Unido las dos empresas importantes en biotecnología tienen una inversión aproximada de 80 millones de dólares, Francia destina por medio de la federación aproximadamente 100 millones de dólares y Alemania Occidental ha destinado 130 millones de dólares para promover la biotecnología en la industria y en las universidades.¹⁶

A diferencia de la Revolución Verde, donde las empresas trasnacionales se involucraron en el negocio de los insumos cuando ya los organismos públicos habían consolidado resultados de investigación, con la

¹⁴Quintero, Ob. cit. p. 480.

¹⁵*Idem.* p. 485.

¹⁶Galindo, Enrique. *Biotecnología: Oportunidades y Amenazas*. Ciencia y Desarrollo No. 80, año XIV, CONACYT, México, 1988.

revolución biotecnológica la correlación cambia. Las empresas trasnacionales participan ahora desde la fase de gestación de los nuevos proyectos, además buscan procedimientos más innovadores y diversificados para vincularse con centros de investigación donde pueden generarse resultados comercializables de alta calidad.

Las empresas trasnacionales buscan nuevas formas para promover la investigación.¹⁷ Entre ellos destaca el establecimiento de convenios y contratos de investigación con universidades y centros académicos; convenios con universidades y otras empresas biotecnológicas; compras de otras empresas que participaban ya en investigación y con lo cual se han creado nuevos grupos industriales biotecnológicos, etcétera (cuadro 5 y 6). De hecho han establecido una nueva estrategia de penetración hacia los países científicamente menos avanzados al comprar empresas de manera directa o establecer algún tipo de convenio de colaboración entre una o más empresas biotecnológicas de Estados Unidos, Japón, Europa y los gobiernos locales.

Las empresas trasnacionales han desempeñado y seguirán desempeñando un papel relevante en la consolidación de la nueva biotecnología comercial. De acuerdo con datos de Quintero, de las 732 empresas que tenían actividad biotecnológica en 1982, 463 se encontraban situadas en los Estados Unidos; de este total 78 correspondían al grupo de las 500 empresas más importantes de ese país en las áreas de energéticos, químico farmacéutico, de alimentos y bebidas. En el caso de Japón se observa la misma tendencia concentradora y se imponen las empresas más sólidas financieramente.

Dada su imposibilidad estructural para competir con las grandes empresas trasnacionales en áreas prioritarias de la investigación, a los países subdesarrollados en lo particular sólo les queda la ventaja relativa de ser centros de diversidad genética, al tiempo que mercado cautivo potencial de los productos biotecnológicos generados por los países industrializados.

¹⁷ *Idem.* p. 487.

De cualquier manera, el hecho de contar con centros de investigación importantes (INIFAP, CIMMYT, IRRI, por ejemplo) y casi toda la reserva genética mundial, puede otorgar ventaja a los países atrasados, importante para conseguir apoyos y permitan desarrollar su propia investigación de manera independiente; todo ello a efecto de no quedar completamente a merced de la revolución biotecnológica y con una estructura de investigación demasiado endeble que nos sometiera a una dependencia alimentaria crónica.

Las nuevas características de la investigación biotecnológica representan hoy un verdadero dilema para países como México, ya que ésta obligadamente lleva a una mayor automatización de la producción agroalimentaria. En tal sentido, la fuerza de trabajo que inevitablemente desplazará el subsector agroalimentario, debería absorberse por un aparato industrial suficientemente sólido, que en nuestro caso no existe; por su parte, el proceso económico actual tiende hacia una mayor desarticulación intersectorial progresiva, lo mismo que a una distribución regional de la agricultura fuertemente polarizada y concentrada, que de hecho comenzó a expresarse con el desarrollo de la Revolución Verde.

De persistir la tendencia señalada, probablemente no quedaría más opción que desarrollar programas para captar la transferencia biotecnológica, sometida siempre a las decisiones de las grandes empresas, o en todo caso, que los empresarios agrícolas mexicanos se asocien y compren directamente la nueva tecnología, lo cual representa una reproducción de la dependencia secular.

No queda pues la menor duda de que la nueva bio-revolución se impone bajo el marco de las condiciones tradicionales de dependencia tecnológica de los países subdesarrollados; en tal sentido, no se vislumbra más que la continuación de la Revolución Verde pero bajo un mayor control económico y tecnológico.

La nueva bio-revolución probablemente involucrará la extracción de recursos genéticos del Tercer Mundo,¹⁸

¹⁸ Kloppenburg, Ob. cit. p. 186.

su incorporación a las variedades vegetales en los laboratorios de los países de capitalismo avanzado y la reintroducción comercial de variedades mejoradas a los países subdesarrollados.

La investigación agrícola en América Latina y sus retos frente a la ola biotecnológica

A fines de la década de los cincuenta surgen en América Latina los Institutos de Investigación Agropecuaria. Dependen presupuestalmente del gobierno central pero mantienen un alto grado de autonomía en sus funciones, cubren grandes regiones, desarrollan varios cultivos y abarcan distintas aristas de la problemática agrícola y pecuaria. De hecho cumplieron un papel protagónico en el proceso de modernización agropecuaria de nuestros países.

El nuevo modelo institucional surgió a partir de dos ideas centrales:¹⁹ a) La percepción de que la incorporación de tecnología es el elemento central del desarrollo agropecuario; y, b) el convencimiento de que existía una amplia gama de tecnología internacional que el sector productor de América Latina podía utilizar. Como la base científica de nuestros países era prácticamente inexistente se consideró implícitamente que el objetivo principal sería adaptar los conocimientos generados en los países industrializados en los subdesarrollados. Para ello era necesario crear infraestructuras ágiles de investigación adaptativa que vincularan a los países receptores con los centros de investigación.

Los organismos surgidos en esta base institucional son:²⁰ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina en 1957; Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP) de Ecuador en 1959; el complejo integrado por el Consejo Nacional de Investigaciones Agropecuarias y el Fondo Nacional de Inves-

¹⁹ Piñeiro, Martín. E. y Eduardo J. Trigo. *Investigación agropecuaria en el sector público de América Latina*. En Memoria sobre el Fortalecimiento de la Investigación Agrícola en América Latina y el Caribe, México, 1984.

²⁰ *Idem*.

tigaciones Agropecuarias (CONIA-FONAIP) de Venezuela entre 1959 y 1961; Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) de México en 1960; Servicio de Investigación y Promoción Agraria (SIPA) de Perú en 1960; Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) de Colombia en 1963 y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIA) de Chile en 1964.

Sin embargo, estos centros nunca tuvieron una base estructural que otorgaran continuidad a largo plazo en sus programas, más bien han dependido de la voluntad política y la prioridad que otorguen los distintos gobiernos a los problemas del campo para seguir operando.

Entre las limitantes más visibles que enfrentan para continuar operando dentro de los condicionantes que exige la investigación agropecuaria actual, en términos de complejidad metodológica y requerimientos financieros, destacan los siguientes:²¹ falta de apoyo presupuestario estable; escasa articulación con los problemas y prioridades de los productores; dispersión de esfuerzos con respecto a otras instituciones dedicadas a igual fin; falta de una adecuada interconexión entre la investigación, la asistencia técnica y la extensión y falta de coordinación entre la institución responsable de generación de tecnología y las encargadas de instrumentar los otros componentes de la política agropecuaria.

En el umbral de los nuevos retos que implica la revolución biotecnológica, el conjunto de América Latina observa, salvo algunos de los países más grandes, una estructura de investigación desarticulada, desintegrada a nivel regional, repetitiva en esfuerzos, con una masa crítica, escasa y concentrada y con un apoyo presupuestario muy pobre. Tal panorama resulta todavía más complejo en la medida que enfrentamos la más grave dependencia agroalimentaria de la historia.

²¹ *Idem.*

De acuerdo con una encuesta realizada hace relativamente poco tiempo por el CIAT de Colombia²² y que contempla una muestra de 54 centros de investigación que informaron sobre los recursos financieros dedicados al estudio biotecnológico, se detectó que sólo 11 de los centros tenían inversiones superiores a 100 mil dólares en este campo y más del 50 por ciento de los mismos no sobrepasaban los 20 mil dólares.

Según el estudio antes citado, la investigación de América Latina en Biotecnología Agrícola se concentra fundamentalmente en el área de cultivo de tejidos. Con dicha metodología trabajan el 88 por ciento de las instituciones; 46 en el área genética; 39 en bioquímica; 33 en nuclear; 28 en inmunología y 23 por ciento en campos que abarcan ADN recombinante, clonación de genes, transferencia, regulación y expresión genética.

En cuanto a proyectos específicos por producto se observa una enorme repetición por países, además de una concentración acentuada en raíces y tubérculos (papa, camote y yuca); tan sólo la papa contaba en 1986 con 62 proyectos de investigación, seguido del frijol con 35 proyectos desarrollados en 11 instituciones. En segunda instancia se ubican las investigaciones sobre productos industriales como el café, caña de azúcar, palma de aceite. El café cuenta con 19 proyectos y el azúcar con 17, esto último puede ser válido en términos de una mayor especialización que permitiría ventajas comerciales si existiera una distribución racional de la producción, pero dado el carácter de la estructura agrícola de nuestra región, esto más bien reproduce el ciclo del viejo problema de la monoproducción.

Por otra parte, no se observa un criterio homogéneo en los organismos internacionales tradicionalmente asentados en algunos países de la región y que de hecho han marcado la pauta de la modernización agrícola. Mientras el CIMMYT de México no cuenta a la fecha con actividades de investigación en biotecnología y más bien contem-

²² Roca W.M., M.C. Amézquita y U.M. Villalobos. *Estado actual y perspectivas de la biotecnología agrícola en América Latina*. Encuesta 1986.

pla la posibilidad de adaptar la tecnología generada en el exterior, el CIAT de Colombia sí tiene inversión en biotecnología, trabaja mediante cultivo de tejidos para el desarrollo de productos como la yuca, arroz, frijol y pastos. El CIP de Perú trabaja básicamente con papa, lo cual refuerza su inclinación hacia la monoproducción. El Centro de Agronomía Tropical, de Investigación y Enseñanza (CATIE) de Costa Rica, cuenta con un laboratorio de cultivo de tejidos y contempla proyectos para el desarrollo del café, forestales, plátano, además de la transferencia de embriones a ganado vacuno.

Brasil es el país de América Latina con mayor cantidad de instituciones abocadas al desarrollo de la biotecnología ya que cuenta con 17 instituciones, le siguen Colombia con 15, México 10, Argentina 7 y Costa Rica 6.

Un estudio todavía más reciente,²³ reporta que la mayor parte de los países Latinoamericanos tienen programas de investigación y desarrollo en las áreas siguientes: a) Fijación natural de nitrógeno atmosférico por bacterias; inoculación con microorganismos; selección de cepas adaptadas a diversas condiciones de clima, (en algunos casos los estudios emplean incluso técnicas de ingeniería genética); b) Cultivo de tejidos para la regeneración de plantas; obtención de cultivos uniformes y sanos y de rápida multiplicación; búsqueda de materiales de siembra de especies nativas de importancia económica; c) Búsqueda de especies tolerantes a las condiciones de suelos tropicales y subtropicales; d) Variación somaclonal y e) Hibridación de cereales.

De las investigaciones en marcha, existen ya aplicaciones importantes que de extenderse el apoyo, pueden resolver desde una perspectiva independiente, algunos de los principales problemas que aquejan a la producción agroalimentaria de la región. De acuerdo con el estudio antes citado,²⁴ por ejemplo, en el ramo de fijación de nitrógeno, durante 1965 la Empresa Brasileira de Pes-

²³ Banco Interamericano de Desarrollo, Ob. cit.

²⁴ *Idem.*

quisa Agropecuaria (EMBRAPA) inició la identificación de cepas nativas y su reproducción para la producción de "inóculos" con miras a la sustitución de fertilizantes nitrogenados que representan el 75 por ciento del costo total de la producción de soya. Actualmente los cultivos de soya en Brasil no utilizan fertilizantes nitrogenados sino exclusivamente "inóculos" de "rhizobium", lo cual significa un ahorro considerable de divisas. EMBRAPA realiza también importantes investigaciones en biopesticidas, especialmente con los virus de la soya *Anticarsia gemmatilis* y *Vaculovirus anticarsia*; durante el periodo 1984-85 se aplicaron algunos de los resultados en más de 300 mil hectáreas, lo cual representó un ahorro estimado hasta en 75 por ciento del costo de producción.

En Argentina también existe un importante desarrollo y aplicación del cultivo de tejidos. En el caso de México,²⁵ además de que existen importantes desarrollos en cultivos de tejido e ingeniería genética, destaca, como veremos más adelante, las experimentaciones realizadas para la obtención de proteína unicelular y así abatir el déficit que se tiene para satisfacer el consumo animal; las posibilidades estudiadas son tres: a) producción de proteína unicelular a partir de metanol obtenido del petróleo, para lo cual se ha examinado la posibilidad de adquirir la patente de la Imperial Chemical Industries (ICI); b) adquirir el proceso desarrollado en Cuba a partir de la melaza de la industria azucarera; y c) utilizar bagazo de cañas mediante un proceso desarrollado por el CINVESTAV-IPN. Se ha estudiado también la posibilidad de utilizar yuca especialmente cultivada para producir proteína unicelular, pero dado que la yuca tiene bajo contenido proteínico, habría que desarrollar un proceso previo de enriquecimiento que eleva la inversión y el costo de operación. La posibilidad de utilizar metanol ha sido descartada por las fluctuaciones en el precio del hidrocarburo y la baja de la soya.

En resumen, si bien se observan avances importantes en el desarrollo y aplicación de la biotecnología en

²⁵ *Idem.*

América Latina, lo cierto es que tales esfuerzos se concentran sólo en los países más grandes (Brasil, Argentina y México); además su coeficiente de ocupación de personal altamente calificado para emprender tareas tan complejas es comparativamente muy bajo con respecto al ocupado en países industrializados y se ubica principalmente en centros académicos (cuadro 8).

Las potencialidades que ofrece hoy en día la biotecnología deben motivar dentro de las políticas agroalimentarias de la región, a canalizar mayores esfuerzos humanos y financieros en este campo ya que puede tener aplicación en campos problema de nuestros países como son:²⁶ el sector agrícola y producción de alimentos, salud y la utilización racional de los recursos naturales. Permitiría también sustituir importaciones de insumos como: energía, fertilizantes y pesticidas, proteínas para consumo animal y humano, también adquirir una mayor capacidad de control y utilización de la variabilidad genética de la región. Tiene asimismo, la ventaja de disponer de abundancia y variedad de recursos naturales en forma de materiales orgánicos (biomasa) que pueden ser cultivados expresamente para propósitos específicos de desarrollo biotecnológico o que son residuos subutilizados de las actividades agrícolas, sobre todo de plantaciones.

Sin embargo debe haber una mayor conjunción de esfuerzos a la investigación, lo mismo que mayor voluntad política entre los diversos sectores. A la fecha se observa una débil e inexistente relación entre la academia y el sector productivo, también carencia de financiamiento de capital de riesgo, así como problemas presupuestarios que enfrentan casi todos los países en sus centros científicos y de educación superior.

Estructura de la investigación biotecnológica en México

Los esfuerzos que actualmente se realizan sobre investigación biotecnológica en México observan un

²⁶ Banco Interamericano de Desarrollo, Ob. cit.

buen nivel si se compara con la región latinoamericana en su conjunto, ya que sólo Brasil, Argentina y en cierta medida Costa Rica y Colombia, mantienen además de nuestro país, programas de investigación más o menos definidos en este rubro.

Sin embargo, comparado nuestro país junto a líderes mundiales como los Estados Unidos, Japón y la Comunidad Económica Europea, las diferencias en cuanto a magnitud de resultados obtenidos y proyectados aparecen de manera notoria, ya que ello es efecto reflejo del monto de la inversión que se destina a la nueva investigación biotecnológica y a la importancia estratégica que le confieren.

De cualquier manera, lo más importante de analizar aquí, no es el nivel actual que tiene la investigación biotecnológica de nuestro país en el contexto internacional y el monto real de financiamiento, sino la propia estructura de la investigación apoyada con recursos técnicos y financieros escasos, su lógica y viabilidad interna, los criterios que pueden estar presentes en la definición de una política biotecnológica y las diversas líneas y niveles que observa la investigación en cuanto a producto esperado.

En un primer acercamiento observamos una clara desarticulación subsectorial en la definición de prioridades de la investigación biotecnológica; ello es reflejo de la ausencia de una política específica para investigación y desarrollo que además no contempla la retroalimentación de necesidades entre la comunidad académica, el aparato industrial y los tomadores de decisiones.

Lo anterior provoca, entre otros efectos, una repetición de proyectos que bajo una misma temática desarrollan diversos investigadores y equipos de trabajo, quienes a su vez poco se comunican los avances registrados; sólo así se explica una gran contradicción de proyectos en muy pocas líneas de investigación.²⁷ A ello debemos

²⁷ Un desglose de las principales instituciones y líneas de proyectos dedicados a la investigación biotecnológica en México se encuentra agrupado con el trabajo *Biotecnología: ¿nueva vía de producción agroalimentaria?* de Rodríguez, Dinah y Torres, Felipe. Memorias del 7o. Seminario de Economía Agrícola. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, 1988. Ahí se

sumar el hecho de que no se conoce con precisión la posible aplicación de los resultados de tales proyectos más allá de su discusión restringida dentro de la comunidad académica; tampoco queda clara su capacidad de respuesta frente a los grandes retos que presenta la crisis agroalimentaria actual. Asimismo, se detecta una contralógica en el aspecto operativo de la investigación, principalmente si comparamos lo que ocurre entre la academia y el sector industrial de los países desarrollados.

Mientras que en los países industrializados se manifiesta tendencialmente una fuerte integración entre los centros académicos y las empresas privadas (cuadro 7). En nuestro caso, a pesar de esfuerzos recientes, los centros académicos no han encontrado una forma definida de vincularse al aparato industrial, ni para definir líneas de investigación ni para explotar comercialmente sus resultados. Todo ello puede traducirse a futuro en un mayor ahondamiento de la dependencia tecnológica, además de un debilitamiento de nuestra estructura de investigación al no encontrar espacios de escalamiento; sobre todo si tomamos en cuenta que prácticamente la totalidad de nuestra investigación biotecnológica se desarrolla en centros de educación superior (cuadro 9), con apoyo financiero gubernamental.

Recursos humanos y financiamiento a la investigación biotecnológica en México

Actualmente existen en México 30 unidades de investigación, 3 instituciones públicas y 3 empresas privadas que producen mediante métodos biotecnológicos, particularmente cultivo de tejidos, para su utilización en la producción agrícola, frutal y ornamental. Existen otras instituciones internacionales que podrían potenciar el nivel de la investigación de México, sin embargo aún no desarrollan programas de biotecnología.

hace referencia a técnicas utilizadas, productos abarcados y áreas donde se insertan los proyectos.

De acuerdo a un reciente estudio,²⁸ en 1987 había alrededor de 100 investigadores en el área de biotecnología, de ellos, 49 eran pasantes o graduados en doctorado, 22 Maestros en Ciencias y 27 Licenciados. Esto habla de un pobre volumen de recursos humanos que a su vez conforman la masa crítica de la investigación en el país.

Por otra parte, los programas de posgrado resultan comparativamente escasos además de concentrados y no integrados realmente a proyectos de investigación (cuadro 10). Si comparamos las cifras anteriores con lo que ocurre en el panorama internacional, notaremos hondas diferencias. Tan sólo cuatro empresas trasnacionales—Cetus, Genetech, tenían para 1981, más del doble de investigadores de alto nivel de los que existen globalmente en México. Además, en el caso de México existe una fuerte concentración de los recursos humanos, ya que las 5 unidades más grandes (CINVESTAV, Irapuato; Departamento de Bioquímica de la Facultad de Química de la UNAM; Departamento de Biología Molecular de Plantas, Centro de Investigaciones sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM, Cuernavaca; CICY, Mérida y Laboratorio de Biotecnología, Centro de Genética, Colegio de Posgraduados de Chapingo), concentran más del 50 por ciento de los investigadores, y de ellos, los de más altas calificaciones.

El estudio citado hace la observación de que mientras algunas empresas trasnacionales tienen inversiones de 150 millones de dólares en laboratorios y destinan anualmente la misma cantidad a investigación y desarrollo, el laboratorio CINVESTAV de Irapuato, uno de los más grandes y mejor dotados del país en biología molecular y cultivo de tejidos, se le destinó un gasto aproximado de entre 5 y 7 millones de dólares. Una sola empresa trasnacional está en condiciones de gastar cantidades 100 veces más altas que el total de la inversión hecha en investigación biotecnológica en México.

²⁸ Arroyo, Gonzalo y Mario Wissbluth. *Bases para una política de desarrollo biotecnológico en la producción agropecuaria, forestal y alimentaria de México*, CEPAL, 1988.

El apoyo financiero mayoritario proviene del sector gubernamental, los organismos más importantes son CONACYT (abierto a todos los centros de investigación), y COSNET (para los proyectos del Sistema Nacional de Investigación Tecnológica). Como en el caso de la distribución de recursos humanos, también el financiero está concentrado en los centros anteriormente aludidos. Otras fuentes importantes son: la SARH que apoya directamente el INIFAP; el Fondo Ricardo J. Zevada y algunos que apoyan investigaciones sobre líneas de investigación específicas en universidades.

Las fuentes internacionales son la National Academy of Sciences, la National Science Foundation, la OEA, la Comunidad Económica Europea, la ONUDI y la Fundación Rockefeller. La mayor parte de estos fondos también observan la distribución antes referida, siendo para los centros un apoyo realmente imprescindible, ya que representan aproximadamente el 50 por ciento del monto total de sus gastos.

Las instituciones gubernamentales que intentan apoyar la investigación biotecnológica, en la mayoría de los casos a nivel programático, son: Secretaría de Educación Pública (a través de COSNET); Secretaría de Salubridad y Asistencia; Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (a través de la Dirección General de Transferencia de Tecnología); Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (a través del Programa de Reconversión Industrial); Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Además de la gran heterogeneidad de los proyectos y lo restringido de los apoyos financieros que además reproducen viejas disputas políticas entre grupos de investigadores, abren el camino a que las grandes empresas puedan definir los criterios con que se hará la investigación en biotecnología, o en todo caso inhibirlas si así se requiere en la nueva división internacional del trabajo agrícola.

En fechas recientes se han venido incorporando un número creciente de empresas trasnacionales biotecnológicas a nuestro país (cuadro 11). Lo cual podría apoyarse tentativamente para dar un fuerte impulso a la in-

vestigación en este rubro, sin verse comprometidos necesariamente los intereses nacionales.

Áreas de investigación agroindustrial

La investigación biotecnológica que se realiza en México dentro del sector primario, abarca tanto el subsector agrícola como el pecuario, además de la industria alimentaria. Dentro de cada línea de investigación se aplican diversas metodologías, aunque algunas de ellas observan un marcado predominio sobre las otras, dependiendo de la formación de los investigadores o de la idea que tengan los centros acerca de las prioridades nacionales y regionales. Incluso algunas veces las líneas de investigación se fijan con base en la especialización productiva sobre algún cultivo agrícola o subproducto, según el caso, en la región donde se ubica el centro.

La biotecnología agrícola incluye como metodologías de trabajo más utilizadas el cultivo de tejidos (con una aplicación muy difundida en la micropropagación), y la ingeniería genética (fundamentalmente DNA recombinante) a nivel de investigación básica, si bien en este último caso comienza a ser aplicada en productos como el frijol.

El cultivo de tejidos es la técnica que mayor desarrollo tiene, entre otras causas, por la facilidad que presenta frente a otras técnicas de la ingeniería genética. Dentro del cultivo de tejidos destacan la micropropagación de frutas, hortalizas, ornamentales y otros cultivos de interés comercial como cítricos, agave y café; la investigación en cultivos básicos es apenas incipiente, lo cual está en relación con las características multigenéticas de las variedades recalcitrantes que impiden logros más acabados.

Una conclusión importante, a nuestro juicio, del estudio antes citado, es que la mayor parte de los centros de investigación agrobiotecnológica en México han escogido especies relativamente fáciles de reproducir vegetativamente; si bien existen trabajos que pretenden ir más lejos como las investigaciones sobre agaves y especies forestales y en cierta medida el café.

El cultivo de tejidos aparece como la metodología

más viable para el nivel actual de la investigación en México, pero también como la más vulnerable; ya que por una parte concentra recursos técnicos y financieros que podrían ser canalizados hacia otras opciones de mayor envergadura, y por la otra, presenta limitaciones en cuanto a número de cultivos que puede abarcar. En otro sentido, esta metodología pronto podría ser rebasada por otras más complejas, derivadas de la ingeniería genética, que vienen desarrollando las principales empresas trasnacionales (cuadro 11) cuyo propósito es lograr un mayor impacto en la productividad y sobre los productos biotecnológicos.

En lo que respecta a la ingeniería genética, donde parece ubicarse la fuente de dominio de la nueva biotecnología agrícola, pocas instituciones en México la desarrollan y ello sin criterios bien definidos. Entre ellas destacan el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional; el Centro de Investigaciones sobre Fijación de Nitrógeno de la UNAM y el Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética, UNAM.

Los estudios sobre técnicas de fijación de nitrógeno constituyen importantes avances mediante la participación conjunta de la Universidad de Chapingo y el CINVESTAV. Sin embargo, las investigaciones que parecen tener mayor avance relativo en esta área son las que desarrolla el CINVESTAV, Irapuato. Además este último centro viene trabajando en fusión de protoplastos y ADN recombinante con cultivos básicos como arroz y frijol y también en el área de granos y semillas almacenados. Asimismo, existen importantes investigaciones sobre técnicas de fijación de nitrógeno, fertilizantes y bioinsecticidas en el Centro de Investigaciones sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM y postcosecha de granos en los institutos de física y biología de la UNAM, lo mismo que en el CINVESTAV, Irapuato.

El CINVESTAV es actualmente el único centro nacional y quizá de América Latina, a excepción del CIBG de Cuba, que trabaja propiamente en ingeniería genética de plantas. Es de hacerse notar que la investigación en biotecnología se desarrolla en centros especializados,

abandonándose con ello la infraestructura estatal como el INIFAP.

Una justificación normalmente expresada sobre el caso desarrollo que presenta la investigación en ingeniería genética de plantas en México, es un incipiente avance en ciencia básica que impide aplicarse a plantas de prioridad nacional como los cultivos básicos; sin embargo lo que parecía remota posibilidad ya pudo concretarse para plantas monocotiledonias en Bélgica y Francia. Esto habla de que la barrera genética ha sido prácticamente disuelta y debemos darle prioridad a nuestra investigación en esta área, de otra manera se corre el riesgo de importar en el corto plazo las nuevas variedades.

Destaca por su ausencia la escasa investigación que se realiza en caña de azúcar, un producto estratégico por lo que significa en la competencia del mercado mundial de edulcorantes y aprovechamiento de sucedáneos; pero además por la gran cantidad de subproductos que pueden obtenerse del cultivo y su factibilidad de aprovecharse en otras áreas de la biotecnología, por ejemplo mediante la aplicación de ingeniería enzimática para la producción de proteína unicelular. Aunque tal vez la inhibición a las investigaciones sobre este producto puedan obedecer a un hecho político inscrito en el proceso de reprivatización de la economía, que incluye la venta de paraestatales relacionadas con el azúcar y todos los ingenios que la integran, principalmente a las compañías refresqueras.

La tecnología de fermentaciones se encuentra entre la frontera de lo agrícola y lo alimentario y en los límites técnicos de la nueva y vieja biotecnología. Los avances de esta área han sido orientados tradicionalmente hacia la considerada biotecnología de segunda generación (derivados lácteos, fabricación de vinos, etcétera), aunque hoy en día presenta como característica un mayor dominio científico de las cepas microbianas.

Por otra parte, tiende a presentar una mayor integración con los procesos agrícolas, ya que si bien la agricultura representa el origen de los insumos (particularmente de los sustratos empleados en la reproducción de los microorganismos), es al mismo tiempo fuente recep-

tora de los productos transformados ya que se ubican en el sector industrial de la agricultura.

Un ejemplo de esto último lo constituye el aprovechamiento de los esquilmos agrícolas procesados mediante tecnología de fermentaciones, que a su vez regresan a la agricultura en forma de abonos, o en todo caso hacia la ganadería en forma de alimento balanceado.

Así, la división establecida en cuanto a las áreas de aplicación de la biotecnología, agrícola y alimentaria representa un mero recurso metodológico. En realidad existe cada vez mayor interrelación en la medida que la producción agrícola se ha venido vinculando a la industria para adoptar la forma de producción agroindustrial.

En la línea de producción agroindustrial biotecnológica destacan los trabajos de CINVESTAV, D.F. e Irapuato y los de la Universidad Autónoma de Chapingo. En el caso del CINVESTAV Irapuato se ha buscado diversificar la utilización de productos y subproductos agrícolas enriqueciéndolos proteínicamente para consumo humano. En el CINVESTAV se desarrolló un proceso de enriquecimiento proteínico del frijol llamado TEMPE, ya con posibilidades de escalamiento. Cabe observar que sólo en muy pocos centros se tiene la perspectiva de investigar integradamente la biotecnología agrícola y la alimentaria que obligadamente contemplaría una utilización más completa de los recursos destinados a la investigación.

En el país existen subproductos en forma abundante que pueden convertirse, mediante procesos de enriquecimiento proteínico, en fuente de alimentación, si bien en este caso habría que definir una lista de prioridades, ya que muchos de los subproductos tienen un uso alternativo prioritario entre grupos de campesinos, como son el rastrojo de maíz y el bagazo de caña.

Existen otros subproductos que pueden convertirse en fuente de alimentación para el ganado mediante tratamiento por fermentación sólida y sumergida; este es el caso de la yuca, el rastrojo de maíz y otras cosechas, desechos de plátano, suero de leche, etcétera.

Otros fines de la investigación proyectada en fermentaciones son la producción de biogás a partir de basuras y

excretas animales y humanas, mediante este mismo proceso se busca la fabricación de enzimas y setas para consumo humano como los hongos.

En cuanto a la ingeniería enzimática y de fermentaciones destacan las investigaciones que desarrolla el Departamento de Alimentos de la Facultad de Química de la UNAM, el Departamento de Biotecnología de la UNAM y el CINVESTAV D.F. a través de la investigación que coordina la Dra. Mayra de la Torre para obtener proteína unicelular a partir de melaza de caña; destaca también el proceso Biofermel para alimentación animal que desarrolla a nivel de plantas piloto la UNAM.

Cabe destacar que muchos de los procesos tecnológicos que en nuestro país se registran como investigación, tienen en realidad carácter adaptativo y más bien tratan de adecuar resultados obtenidos en otros países a la realidad nacional.

La biotecnología para la industrialización de alimentos ha suscitado gran interés en los centros académicos y puede significar a corto plazo una respuesta adecuada a nuestros déficit nutricionales. La importancia de la investigación en esta área no sólo tiene una expresión cuantitativa –59 proyectos en nuestra relación– sino también en el aspecto cualitativo, ya que se registran avances importantes en ese tipo de aplicaciones. La investigación realizada en esta área se encamina básicamente a los siguientes procesos:

- a) Producción de proteína unicelular para consumo pecuario, así como su eliminación de residualidad tóxica para consumo humano directo.
- b) Utilización de subproductos agrícolas para la obtención de productos alimentarios y no alimentarios.
- c) Producción de aminoácidos, fragancias, pigmentos, vitaminas, grasas y concentrados protéicos.

Dentro de esta temática participan numerosos centros de investigación: universidades, institutos tecnológicos, y en menor medida, centros de investigación estatales (Sosa Texcoco-SARH) y Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (LANFI).

La importancia que adquiere la biotecnología en esta industria está determinada no sólo por la obtención de nuevos productos como la proteína unicelular y los procesos no convencionales cuyo mayor atractivo sería abatir su costo, sino también por la sustitución de algunos productos de origen natural por productos sintéticos como pigmentos, aromatizantes, vitaminas, aminoácidos y grasas. Existe un doble interés por el desarrollo de estas investigaciones, por una parte el abatimiento del costo del producto, y por la otra, la autosuficiencia en este renglón, ya que muchos de los sintéticos arriba señalados, se importan y representan un incremento en costos para la industria alimentaria. En este mismo contexto se inscribe la producción de enzimas, que además de la industria alimentaria, tiene diversas aplicaciones como la rama química, farmacéutica, entre otras.

Un sector no suficientemente explorado en el pecuario, la tecnología enzimática, de fermentaciones y la ingeniería genética contribuyen de manera importante al desarrollo de la ganadería. Los principales desarrollos consisten en producción de alimentos no convencionales para ganado a partir de la utilización de subproductos agrícolas, la producción de sustancias que aceleran el crecimiento,²⁹ además del mejoramiento genético de las razas; en este último existen avances novedosos. Por ejemplo: la producción de microbovinos que representa una alternativa a la producción de carne y leche y ventajas de tipo agrícola y ecológico ya que reduce la utilización de superficie, lo cual no es posible con métodos extensivos tradicionales.

En cuanto a trasplante de embriones se contempla la reducción de los tiempos de crianza y mejoramiento del hato ganadero mediante el empleo de vacas superovuladoras que generan gran cantidad de óvulos para ser trasplantados en vacas nodrizas o receptoras; en este caso la importancia que antes tenía el semen congelado ya no es tan determinante.

²⁹ Rodríguez y Torres, Ob. cit.

Existen 5 centros que trabajan la línea de biotecnología secundaria: Centro Universitario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes; Unidad de Enseñanza en Investigación y Zootecnia, Sección Fisiología; Departamento de Estudios de Posgraduados e Investigación, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nuevo León; Departamento de Transferencia de Embriones, Dirección General de Normatividad Pecuaría SARH, Ajuchitlán, Guerrero; Centro de Mejoramiento Genético y Trasplante de Embriones, LI-CONSA (estos centros trabajan con embriones de conejo y mamíferos adultos, bipartición y formación de bancos de embriones domésticos).³⁰ Sólo existe un proyecto en el campo de hormonas de crecimiento en la Facultad de Medicina de la Universidad de Nuevo León.

³⁰ Arroyo y Wissbluth, Ob. cit.

CUADRO 1

PROGRAMA DE LIBERACION DE VARIEDADES

COSECHA	PRIMERAS VARIEDADES COMERCIALIZADAS	MANIPULACION GENETICA INVITRO	PRIMERAS PLANTAS TRANSFORMADAS TOTALMENTE	UTILIZACION MASIVA DE PLANTAS TRANSFORMADAS
MAIZ	1985	1985	INICIO AÑOS 90	MEDIADOS AÑOS 90
TRIGO	1984-1986	1985-1987	INICIO AÑOS 90	MEDIADOS AÑOS 90
ARROZ	1985	1985-1987	FINAL AÑOS 80	INICIO AÑOS 90
SOYA	1988-1990	1985	INICIO AÑOS 90	MEDIADOS AÑOS 90
TOMATE	1985	1984-1986	1983-1985	1986 - 1988
CAÑA DE AZUCAR	1985	1987-1989	INICIO AÑOS 90	MEDIADOS AÑOS 90
ALGODON	1983-1985	1985-1987	INICIO AÑOS 90	MEDIADOS AÑOS 90

FUENTE: Quintero (1986).

CUADRO 2

GASTOS EN INVESTIGACION BIOTECNOLOGICA DE ALGUNAS EMPRESAS SELECCIONADAS EN 1985 (MILLONES DE DOLARES)

COMPAÑIA	MONTO
Dekalb Agresearch	24
Pioneer Hi Bred	33
Monsanto (un nuevo centro)	148
Dupont	260
Dupont (un nuevo centro)	85

FUENTE: Arroyo y Wisblwet. CEPAL, 1987.

CUADRO 3 PROCESO DE CONCENTRACION DE LA INDUSTRIA DE SEMILLAS

NUEVO PROPIETARIO	EMPRESA ADQUIRIDA	AÑO
Agrigenética Inc. (E.U.) (Ingeniería genética)	Arkansas Valley Seeds Jacques Seed, Mc. Curdy Seed Co. Taylor Evans Seed Co. Seed Research Inc.	1976 1981 1979 1978
Archer Daniels Milland Co. (E.U.) (Procesamiento y comercio de granos).	Farmer Coty Gram	1979
Cargill Inc. (E.U.) (Comercio de granos y procesamiento de soya).	Acco Seed Division Raymester Forms, Tonco-Genetic Giant, Dorman Seeds, Krocker Seeds (can) Pag Seeds	1980 s/d 1971
Celanese Corp. (Productos químicos)	Joseph Harris Seed Co. Moran Seeds Capril Inc.	1976 1974 1973
Ciba Geigy L.T.D. (Suiza) (Productos agroquímicos)	Lousiana Seed Co. Hybridex (can) Funk Seed Int'l C, Ciba Geigy Seeds Canada L.T.D. Stewart Seed (can)	1979 1978 1974
Continental Grain (E.U.) (Comercio de granos)	Pacific Seeds (Aust.) Golden Acres (Aust.)	 s/d
Dekalb Agresearch Inc. (E.U.) (Productos agroquímicos y fertilizantes).	Ramsey Foord	s/d
Diamond Shamrock (E.U.) (Fumicidas, herbicidas y semillas).	Golden Acres Bybrid Seed Co.	s/d
International Multifood (E.U.) (Productos alimenticios)	Gildersieve Seed Co. Limks Bros. Seed. Co. Baird Inc.	1977 1976
International Telephone Tel. (E.U.) (Genética forestal)	W. Attle Surpee Co. O.M. Scott a Soons	1978 1971
Occidental Petroleum (E.U.) (Productos químicos)	Excel Hybrid Seeds Eart Texas Seeds Co., Wast Texas Seeds Co.	s/d 1973
Olim Corp. Con Royan Dutch/Shell (E.U. RU) (Productos químicos)	Midwest Seed Growers (Migro) Agripo Inc.	1976 1973
Pfizar (E.U.) (Productos para fitogenética)	Warwick Seed (can) Jordan Whollsale Co. Clemers Seed Farm. Trojan Seed Co.	1976 1975 1974 1973
Pioneer N. Seed International (E.U.) (Cereales y semillas)	Arnold Thomas Seed Co., Lankhart Seeds Farm. Locktt, Wealter Fred Seed Peterson Seed Co.	 1975 1974
Purex Industries (E.U.) (Productos químicos)	Pioneer H. Breed H. Breed L.T.D. Ferry Morse Seed, Advances Seeds	1973 s/d
Sandoz (Suiza) (Productos agroquímicos)	Multing Hybrids Northrup King & Co.	1977 1976
Upjohn (E.U.) (Productos químicos y y esp. agrícolas).	National N.K. (can) Woodside Seed Growers Roger Brothers Seed Co. Fammers Hybrid Co. Asgrow Secks, Associated Seeds	1977 1974 s/d 1975 1972

FUENTE: Pat. R. Mooney. Semillas de la Tierra ICDA, Londres, 1979. Citado Barkin y Suárez. El fin del principio. Las semillas y la seguridad alimentaria.
s/d Sin datos.

CUADRO 4

PRINCIPALES GRUPOS INDUSTRIALES
QUE PARTICIPAN EN BIOTECNOLOGIA
(1981)

EMPRESAS	PAIS	ACTIVIDAD
Eli Lilly, Schering Dlough, Pfizer, Searle, Abbot, Up John, Merck & Co. Flow General	E.U.	Medicamentos (insulina, interferones, antibióticos) y diversificación
Pioneer, Del kalb	E.U.	Semillas
Monsanto, Allied Chemical Dupont, Dow Chemical, Corning Glass, Rhom & Hass, Exxon, Standard Oil of Indiana, Stauffer Chemical	E.U.	Grupos químicos o petroquímicos que se diversifican hacia el sector biomédico o agroalimentario
Labbat	Canadá	Campo agroalimentario
Connaught, Hoechst, Bayer (RFA); Rhone Poulenc, SNEA BSN, Laforge-Coppee, Hennessy (Francia); Hoffman Laroche, Ciba Geigy (Suiza); ICI (Inglaterra); Girt Brocades (Holanda); Novo (Dinamarca).	Europa	Vacunas y productos farmacéuticos, química medicamentos, proteínas enzimas, antibióticos, enzimas industriales, insulina
Shiongi, Mochida, Green Cross, Tanabe, Takeda, Fujisawa, Meiji Seika, Ajinomoto, Kyowa Hakko, Suntory, Kirin Brewery, Asahi Chemical, Mitsubishi Chemical, Sumitomo Chemical, Toray Industries, Mitsui Chemical	Japón	Empresas agroalimentarias que se diversifican; empresas químicas que se diversifican
FUENTE: Douzou (1986) con modificaciones nuestras.		

CUADRO 5

PRINCIPALES EMPRESAS SURGIDAS EN BIOTECNOLOGIA DURANTE LOS ULTIMOS 10 AÑOS (1981)

EMPRESA	PAIS	No. DE EMPLEADOS	No. DE IN- VESTIGADORES (alto nivel)	ACTIVIDADES
CETUS	E.U.	370	40	Ingeniería genética (biomasa)
GENETECH	E.U.	300	75	Ingeniería genética
GENEX	E.U.	100	26	Ingeniería genética (química)
BIOGEN	Suiza	70	25	Ingeniería genética (medicamentos)
BETHEODA				
RESORCHBOB	E.U.	340	65	Reactivos biológicos
AGRIGENETICS	E.U.	650	28	Mejoramiento de plantas
INTERNATIONAL PLANT RESEARCH INSTITUTE	E.U.	120	45	Mejoramiento de plantas
NATIVE PLANTS		85	25	Agronomía, microorganismos
COLLAGON CORPORATION	E.U.	89	10	Colágena para uso médico y de laboratorio
CENTOCAR	E.U.	34	12	Investigación sobre hibridomas
HYBRITECH	E.U.	50	10	Investigación sobre hibridomas
CELLTECH	Inglaterra	40	—	Investigación sobre hibridomas y vacunas
BIOLOGITAL	Canadá	56	22	Investigación e instrumentos fermentaciones
ALLELIX	Canadá	—	—	Biotechnología agrícola, forestal, química y contaminación
TRANGONE	Francia	50	22	Ingeniería genética
GENETICA	Francia	—	—	Ingeniería genética
G 3	Francia	—	—	Ingeniería genética
INMUNOTECH	Francia	—	—	Inmunología y anticuerpos monoclonales

FUENTE: Douzu (1986) con modificaciones nuestras.

CUADRO 6

COMPAÑÍAS REALIZANDO INVESTIGACION BIOTECNOLÓGICA EN EL CAMPO AGRÍCOLA

EMPRESA	PRODUCTOS Y/O PROYECTOS
ADVANCED GENETIC SCIENCES	Semillas de maíz, tomate, papa, soya y cereales resistentes a plagas, resistencia a bajas temperaturas.
AGRIGENETICS	Tomates con menor contenido de agua, fijación de nitrógeno, genética de las proteínas de almacenamiento en soya, semilla híbrida de trigo, plantas híbridas desarrolladas por cultivo de tejidos: tomate, tabaco, girasol y col.
BAYER AG	Plantas resistentes a fitotoxinas por ingeniería genética.
BIO TECHNICA INTERNATIONAL	Cultivares con incremento en su valor nutricional, fijación de nitrógeno en maíz.
CALGENE	Semillas resistentes a condiciones adversas, fijación de nitrógeno, mejoramiento en la eficiencia nutricional. Algodón resistente a glifosato.
DE KALB-PFIZER GENETICS	Semillas de maíz híbrido, sorgo, girasol, soya y alfalfa.
PIONEER HI-BRED INTERNATIONAL	Obtención de semillas de trigo y soya por ingeniería genética.
PLANT GENETICS	Clonación y fitomejoramiento de alfalfa, algodón, brócoli, lechuga, tomates y apio.
PHYTOGEN	Semillas resistentes a plagas, plaguicidas y sequía de cereales, papa y algodón.
SANDOZ	Producción de bioinsecticida, <i>Bacillus Thuringensis</i> .
TATE & LYLE	Control biológico de plagas (insecticidas fúngicos).
FUENTE: Quintero, (1986).	

CUADRO 7

CONTRATACIONES/DONACIONES ENTRE EMPRESAS TRASNACIONALES Y UNIVERSIDADES

AÑO*	UNIVERSIDAD	EMPRESA	MONTO (millones de dólares)	NUMERO DE AÑOS CONVENIDOS	AREAS DE INVESTIGACION
1974	Harvard M. School	Monsanto	23.5	12	Tumores cancerosos
1980	MIT	Exxon	8.0	10	Combustión
1981	Massachusetts G. Hospital	Hoechst	70.0	10	Genética
1981	Harvard M. School	Du Pont	6.0	5	Genética
1981	U.C. Davis	Allied	2.5	3	Fijación de Nitrógeno
1981	S.C. & R. Foundation	Johnson & Johnson	30.0	—	Vacunas sintéticas
1981	Washington University	Mallinkrodt	3.8	5	Hidrídomas
1981	Yale	Celanese	1.1	3	Enzimas
1982	Johns Hopkins	Johnson & Johnson	1.0	—	Biología
1982	Rockefeller University	Monsanto	4.0	5	Fotosíntesis
1982	Washington University	Monsanto	23.5	5	Biomedicina
1982	MIT	W.R. Grace	8.0	5	Aminovascular
1982	Yale	Bristol Myers	3.0	5	Drogas anticáncer
1982	G. Spring Harbord	Exxon	7.5	5	Genética Molecular
1983	Rochester	Kodak	0.5	—	ADN
1983	M. Univ. S.C.	Chugai	0.5	3	Anticuerpos monoclonales
1983	Univ. of Illinois	Sohoi	2.0	5	Genética Molecular
1983	Columbia	Bristol-Myers	2.3	6	Estructura de los Genes

FUENTE: Piñeiro E. Martín. Modernización Agrícola y Vínculos Intersectoriales, II Congreso Latinoamericano de Economía Agrícola. México, 1987.

* En todos los años Agrigenetics ha realizado grandes donaciones a diversos investigadores.

CUADRO 8

AMERICA LATINA 1986

NUMERO DE INVESTIGADORES EN BIOTECNOLOGIA POR TIPO DE INSTITUCION Y NIVEL ACADEMICO

(encuesta a 82 instituciones)

TIPO DE INSTITUCION	P L	M C	D	PERSONAL TOTAL
Universidad	2.5	2.0	3.1	9.9
Inst. Nac. de Invest. Agric.	1.7	2.4	3.2	9.8
Inst. Nac. de Invest. Agric.	1.7	1.0	6.0	11.3
Cent. Intern. de Inv. Agric.	2.7	0.7	4.3	11.3
Inst. Intern. Regional	0.8	0.2	3.3	4.8
Institución Mixta	0.8	1.0	1.8	4.2
Compañía Privada	1.9	1.1	3.1	13.4
PROMEDIO GENERAL	2.0	1.8	3.1	9.7

FUENTE: Piñeiro F. Martín. Modernización Agrícola y Vínculos intersectoriales en el Desarrollo. II Congreso Latinoamericano de Economía Agrícola. México 1987. Con base en Roca, W.M.; M.C. Amézquita y V.M. Villalobos. Estado Actual y Perspectivas de la Biotecnología Agrícola en América Latina. Encuesta 1986.

PL Pasantes de Licenciatura.

MC Maestros en Ciencias.

D Doctorado.

CENTROS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIOS QUE CUENTAN CON INFRAESTRUCTURA
FISICA ADECUADA Y PERSONAL EXPERIMENTADO PARA LA INVESTIGACION BIOTECNOLOGICA

- Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología, UNAM, Cuernavaca, Morelos; cuenta con una superficie de 5000 m². Areas de interés: Ingeniería genética y biotecnología aplicada al sector salud.
- Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM, Cuernavaca, Morelos; cuenta con una superficie de 4000 m². Areas de interés: biología molecular e ingeniería genética aplicada a células vegetales.
- Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, México, D.F.; cuenta con una excelente planta piloto y laboratorios bien equipados. Areas de interés: Fermentación e ingeniería enzimática.
- Centro de Investigación y Estudios Avanzados, IPN. Unidad de Biología Vegetal Moderna, Guanajuato, Gto., cuenta con una superficie de 8000m². Areas de interés: Conservación y preservación de semillas, ingeniería genética aplicada a células vegetales.
- Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM, México, D.F., tiene una planta piloto en operación y, en general está bien equipado. Areas de interés: microbiología industrial, fermentación e ingeniería enzimática.

FUENTE: Tomado de Quintero, Rodolfo. Perspectivas de la Biotecnología en México. Fundación Barros Sierra-CONACYT. México, 1985.

CUADRO 10

MEXICO, 1987

PROGRAMAS DE POSGRADO EN BIOTECNOLOGIA

INSTITUCION	PROGRAMA	GRADO
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, D.F.	Bioingeniería	M
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, D.F.	Biotechnología	M
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Irapuato.	Biotechnología de plantas	M.D
Instituto Tecnológico de Mérida, Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán.	Biotechnología	M
Instituto Tecnológico de Veracruz.	Bioingeniería	M
Instituto Tecnológico de Veracruz.	Biotechnología	M
Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM.	Biotechnología	E,M,D

FUENTE: Quintero y González. *Seminario sobre la Biotecnología en Europa y Latinoamérica*, Bruselas, Bélgica. 1987.

E = Entrenamiento Técnico.

M = Maestría.

D = Doctorado.

CUADRO 11

MEXICO, 1987

NUEVAS EMPRESAS BIOTECNOLÓGICAS EN MEXICO

Enzymologa (Monterrey, N.L.)	Fenilglicina (vía enzimática), ácido fenilacético fenilalanina y aspartano (de su interés).
Bioenzimas (Saltillo, Coahuila)	Semillas mejoradas, insecticidas, ácido giberélico y otros productos biotecnológicos aplicados a la agricultura (enzimas).
Biogenética Industrial (México, D.F.)	Micropropagación de fresa, espárragos, violeta (cultivo de tejidos).
Enzygen (Guadalajara, Jalisco)	Enzimas de uso diagnóstico (uricasa, peroxidasa, glucosa-oxidasa).
Genin (México, D.F.)	Desarrollo tecnológico de enzimas inmovilizadas.
Mexicana de Micropropagación de plantas (Texcoco, Edo. de México).	Micropropagación cactáceas y algunos frutales.

BIBLIOGRAFIA

- ARROYO, Gonzalo. *Transformaciones recientes de la agroindustria a nivel mundial*. Primer Seminario sobre Reconversión Industrial, Ixtapa, Zihuatanejo, México, 1987.
- ARROYO, Gonzalo y Arias, Salvador. *Discusiones sobre autosuficiencia y seguridad alimentarias: el caso de Centroamérica*. Argumentos. UAM-Xochimilco, México, 1988.
- ARROYO, Gonzalo y Wissbluth, Mario. *Bases para una política de desarrollo biotecnológico en la producción agropecuaria, forestal y alimentaria en México*, CEPAL, 1988.
- BANCO Interamericano de Desarrollo. *Informe 1988. Progreso económico y social en América Latina*, tema especial: Ciencia y Tecnología, Washington, D.C., 1988.
- GALINDO, Enrique. *Biotecnología: alcances y perspectivas*. Ciencia y Desarrollo. Año, XIV, No. 80, CONACYT. México, 1988.
- KLOPPENBURG, Jack. *Et. al. La biotecnología en Estados Unidos y el Tercer Mundo*. Revista Mexicana de Sociología, Año, L, No. 1. ISSUNAM. México, 1988.
- PINEIRO, Martín E. *Modernización agrícola y vínculos intersectoriales*. Segundo Congreso Latinoamericano de Economía Agrícola. México, 1987. (mimeo).
- PINEIRO, Martín E. y Trigo, Eduardo J. *Investigación agropecuaria en el sector público de América Latina*. En Memoria sobre el fortalecimiento de la investigación agrícola en América Latina y el Caribe, México, 1984.

- QUINTERO, Rodolfo. *Prospectiva de la biotecnología en México*. Fundación Barros Sierra-CONACYT, México, 1985.
- QUINTERO y González. *La biotecnología mexicana: opciones de cooperación técnico económico multilateral*. Ponencia en el Seminario sobre biotecnología en Europa y Latinoamérica, Bruselas, Bélgica, 1987.
- RODRÍGUEZ, Dinah y Torres, Felipe. *Biotecnología: ¿nueva vía de producción alimentaria?* Memoria del 7o. Seminario de Economía Agrícola, IIEC-UNAM, México, 1988.
- ROCA, W.M., M.C. Amézquita y V.M. Villalobos. *Estado actual y perspectiva de la biotecnología agrícola en América Latina*. Encuesta 1986. (mimeo).
- VUSKOVIC, Pedro. *América Latina: la crisis el significado de un nuevo orden económico internacional*. Tercer Congreso de la Asociación de Economistas de América Latina, Cuba, 1987. (mimeo).

El sector agrícola es donde más claramente resalta el dominio tecnológico actual. Al quedar la agricultura rezagada del avance científico, se mantiene una estructura productiva desarticulada y débil que se expresa en problemas de sojuzgamiento alimentario.

La subordinación que padecen hoy en día la agricultura y la alimentación de los países subdesarrollados, son tan sólo partes visibles de ese esquema. La hegemonía es impuesta por aquellos países de mayor capacidad científica y tecnológica, particularmente por el dominio de las llamadas "tecnologías punta" como la microelectrónica, la cibernética, las telecomunicaciones, los nuevos materiales y la biotecnología. El desarrollo de estas tecnologías se inscribe dentro de lo que ha dado en llamar tercera Revolución Científico Tecnológica (RCT).

El estudio que hoy entrega la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del investigador Felipe Torres y del Instituto de Investigaciones Económicas, profundiza en el tema y presenta acuciosamente la influencia que hoy ejerce el estudio de la biotecnología sobre nuestra sociedad.